(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2013 200 974 A1** 2014.07.24

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 200 974.7**
(22) Anmeldetag: **22.01.2013**
(43) Offenlegungstag: **24.07.2014**

(51) Int Cl.: ***G01N 29/06*** (2006.01)
G01N 29/26 (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01)

(71) Anmelder:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

(72) Erfinder:
Mooshofer, Hubert, 80538, München, DE;
Goldammer, Matthias, 80687, München, DE;
Wissmann, Patrick, 81677, München, DE; Laloni, Claudio, 82024, Taufkirchen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	**34 22 602**	**A1**
DE	**100 58 174**	**A1**
DE	**10 2007 019 764**	**A1**
DE	**698 29 155**	**T2**
US	**2011 / 0 113 885**	**A1**
EP	**0 105 966**	**A1**

DEUTSCH, Volker ; PLATTE, Michael ; VOGT, Manfred: Ultraschallprüfung. Berlin [u.a.] : Springer, 1997. Haupttitelseite, Rückseite der Haupttitelseite. 206-213. - ISBN 3-540-62072-9

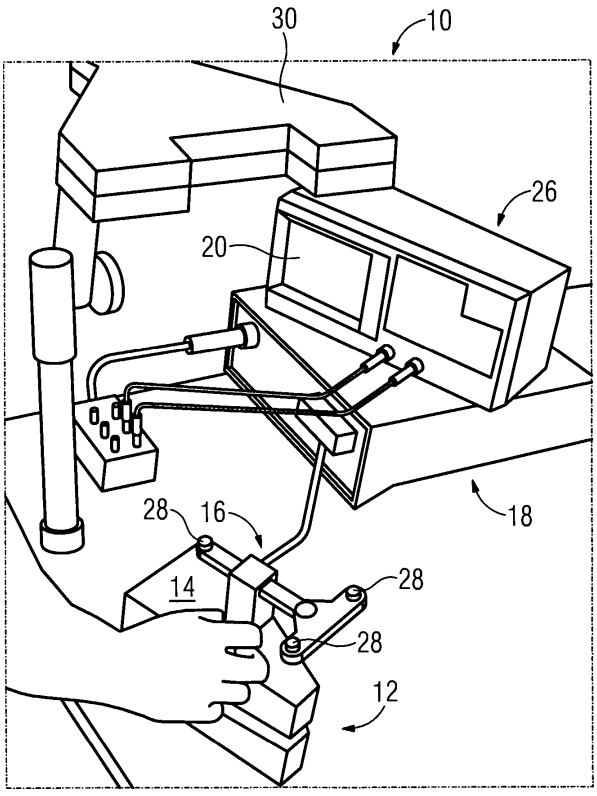
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zur handgeführten Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts (12), mit den Schritten: Bewegen eines Prüfkopfes (16) entlang einer Prüfobjektoberfläche (14) und Aussenden von Ultraschallimpulsen in das Prüfobjekt (12) mittels des Prüfkopfes (16); Empfangen jeweiliger mit den ausgesendeten Ultraschallimpulsen korrespondierender Echosignale mittels des Prüfkopfes (16); Erstellen einer Abbildung (20) eines vorgegebenen Prüfbereichs des Prüfobjekts (12) basierend auf einer Überlagerung und Mittelung von Amplitudenwerten der empfangenen Echosignale mittels einer Datenverarbeitungseinrichtung (18); wobei sich das erfindungsgemäße Verfahren sich durch folgende Schritte auszeichnet: Erfassen der jeweiligen Position des Prüfkopfes (16) bei Aussenden der Ultraschallsignale und/oder bei Empfangen der korrespondierenden Echosignale mittels einer Erfassungseinrichtung; Berücksichtigen der jeweils erfassten Positionen des Prüfkopfes (16) beim Erzeugen der Abbildung (20) des Prüfungsbereichs des Prüfobjekts (12).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie ein System zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts der in den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche angegebenen Art.

[0002] Zur zerstörungsfreien Prüfung von Prüfobjekten sind unterschiedlichste Ultraschallprüfverfahren bekannt. Zur besseren Lokalisierung und Trennung von Defekten bei der zerstörungsfreien Prüfung mit Ultraschall ist die Analysetechnik SAFT (Synthetic Aperture Focusing Technique) bekannt. Die Inspektion erfolgt dabei wie bei einer klassischen Ultraschallprüfung, jedoch werden die Daten ohne eine Gleichrichtung aufgezeichnet. Bei der anschließenden Analyse der Messdaten werden Amplitudensummen aus einer Vielzahl von Messsignalen für jeweilige kleine Volumenelemente, welche auch als sogenannte Voxel bezeichnet werden, ermittelt. Die Ultraschallprüfung unter Zuhilfenahme der SAFT-Analyse wird üblicherweise bei einer automatisierten Bewegung eines die Ultraschallimpulse aussendenden und die korrespondierenden Echosignale empfangenden Prüfkopfes eingesetzt.

[0003] Durch den Einsatz von sogenannten Phased-Array-Prüfköpfen können Prüfobjekte nicht nur mechanisch sondern auch elektronisch gescannt werden, d. h. dass durch eine Art elektronisches Verschieben des Prüfkopfes mehrere Messungen in einem definierten Raster durchgeführt werden. Bei einem stationären Prüfkopf können Daten, die mit demselben elektronischen Scan aufgenommen wurden, mit der SAFT-Analyse ausgewertet werden. Dies funktioniert sowohl bei unbewegtem Prüfkopf als auch bei während des elektronischen Scans bewegten Prüfkopf, wenn die exakte Sende- und Empfangsposition sowie Einschallwinkel und Fokussierung zum Rekonstruktionszeitpunkt bekannt sind.

[0004] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte, insbesondere handgeführte Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts unter Zuhilfenahme der SAFT-Analyse zu ermöglichen.

[0005] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren sowie durch ein System zur Ultraschallprüfung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen mit zweckmäßigen und nicht trivialen Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0006] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ultraschallprüfung eines Prüfkobjekts umfasst die folgenden Schritte: Bewegen eines Prüfobjekts entlang einer Prüfobjektoberfläche und Aussenden von Ultraschallimpulsen in das Prüfobjekt mittels des Prüfkopfes; Empfangen jeweiliger mit den ausgesendeten Ultraschallimpulsen korrespondierender Echosignale mittels des Prüfkopfes; Erstellen einer Abbildung eines vorgegebenen Prüfbereichs des Prüfobjekts basierend auf einer Überlagerung und Mittelung von Amplitudenwerten der empfangenen Echosignale mittels einer Datenverarbeitungseinrichtung. Mit anderen Worten umfasst das Verfahren zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts die bei einer SAFT-Analyse erforderlichen Schritte, wobei sich das erfindungsgemäße Verfahren dadurch auszeichnet, dass die jeweiligen Positionen des Prüfkopfes bei Aussenden der Ultraschallsignale und/oder bei Empfangen der korrespondierenden Echosignale mittels einer Erfassungseinrichtung erfasst und die jeweils erfassten Positionen des Prüfkopfes beim Erzeugen der Abbildung des Prüfbereichs des Prüfobjektes berücksichtigt werden.

[0007] Es ist somit erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Position des Prüfkopfes auf der Oberfläche des Prüfobjekts während der Dauer der Prüfung gemessen wird. Die Messung der jeweiligen Position erfolgt dabei innerhalb vergleichsweise kurzer Intervalle und mit einem definierten Zeitbezug relativ zu den zur Inspektion des Prüfobjekts ausgesandten Ultraschallimpulsen. Vorzugsweise erfolgt die Positionsmessung jeweils dann, wenn ein Ultraschallimpuls ausgesendet wird. Zusätzlich kann auch noch jeweils eine Positionsmessung erfolgen, wenn das zu dem ausgesendeten Ultraschallimpuls korrespondierende Echosignal empfangen wird.

[0008] In Abhängigkeit von den erfassten bzw. gemessenen jeweiligen Positionen des Prüfkopfes wird eine jeweils momentane Position des Prüfkopfes, vorzugsweise zum Zeitpunkt eines jeweiligen Aussendens des Ultraschallimpulses, ermittelt und bei der SAFT-Analyse zur Bestimmung eines Abstandes zwischen einem zu rekonstruierenden Voxel und der tatsächlichen Messposition verwendet.

[0009] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird es ermöglicht, die Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts unter Zuhilfenahme der SAFT-Analyse auch bei handgeführtem Prüfkopf einzusetzen. Vorzugsweise kann der Prüfkopf dabei manuell entlang der Prüfobjektoberfläche bewegt werden. Insbesondere kann der Prüfkopf bei dem erfindungemäßen Verfahren frei auf der Prüfobjektoberfläche geführt werden. Die Lokalisation von Defekten innerhalb des Prüfobjekts wird durch das Verfahren erheblich verbessert, wobei einzelne Defekte besser voneinander unterschieden und das Signalrauschverhältnis insbesondere bei einer manuellen, also bei einer handgeführten Prüfung, verbessert wird. Dadurch ergibt sich bei der Erstellung der Abbildung des Prüfbereichs des Prüfobjekts eine verbesserte Auflösung von Gruppenanzeigen, also von nahe beieinander liegenden Einzelanzeigen, die ohne eine SAFT-Analyse nicht voneinander getrennt werden könnten und daher als eine größere Anzeige bewertet werden würden, und insbeson-

dere eine verbesserte Detektion von kleinen Defekten. Unter kleinen Defekten sind dabei Defekte mit einer Abmessung zu verstehen, welche im Verhältnis zur verwendeten Wellenlänge der Ultraschallimpulse klein sind. Zudem können die Prüfergebnisse, welche mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielt werden, durch eine Referenzierung zu einem dreidimensionalen digitalen Modell des Prüfobjekts besonders intuitiv interpretiert werden.

[0010] In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass bei Aussenden der Ultraschallsignale und/oder bei Empfangen der korrespondierenden Echosignale eine Orientierung des Prüfkopfes mittels der Erfassungseinrichtung erfasst und beim Erzeugen der Abbildung des Prüfobjekts berücksichtigt wird. Insbesondere bei einer manuellen Ultraschallprüfung, also einer händischen Führung des Prüfobjekts, ist es relativ einfach möglich, den Prüfkopf entlang einer nicht eben ausgebildeten Prüfobjektoberfläche zu bewegen, um auch solche Prüfobjekt mittels der Ultraschallprüfung im Hinblick auf Defekte zu untersuchen. In solchen Fällen ergibt sich die Problematik, dass die Ultraschallimpulse je nach Positionierung des Prüfkopfes an der Prüfobjektoberfläche mit unterschiedlichen Orientierungen, also unterschiedlichen Winkeln in den Prüfobjekt eingebracht werden. Die Erfassung der jeweiligen Orientierung des Prüfkopfes kann dabei beispielsweise gegenüber einem ortsfesten Referenzkoordinatensystem, einer Startorientierung des Prüfkopfes zu Beginn der Ultraschallprüfung oder dergleichen erfolgen, so dass eine eindeutige Referenz für die Bestimmung der jeweiligen Orientierung des Prüfkopfes gegeben ist. Durch die Berücksichtigung der Orientierung können sowohl unterschiedliche Winkel, mit welchen Ultraschallimpulse in den Prüfobjekt eingebracht werden, sowie jeweilige Oberflächenneigungen des Prüfobjekts berücksichtigt werden, so dass insgesamt eine verbesserte Abbildung des Prüfobjekts durch die Ultraschallprüfung ermöglicht wird.

[0011] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass anhand der erfassten Position und Orientierung des Prüfkopfes die Mittenposition der aktiven Apertur des Prüfkopfes beim Aussenden der Ultraschallsignale ermittelt und beim Erzeugen der Abbildung des Prüfbereichs des Prüfobjekts berücksichtigt wird. Unter der aktiven Apertur ist dabei derjenige Bereich des Prüfkopfes zu verstehen, welcher als aktive Sende- bzw. Empfangsfläche für die Ultraschallimpulse bzw. die Echosignale dient. Wird beispielsweise ein Phased-Array-Prüfkopf eingesetzt, ist die Mittenposition der aktiven Apertur der Bereich, welcher gerade zum Aussenden der Ultraschallimpulse bzw. zum Empfangen der korrespondierenden Echosignale entsprechend angesteuert worden ist. Vorzugsweise wird dabei bei einem jeweiligen Aussenden der Ultraschallimpulse und/oder bei einem jeweiligen Empfangen der korrespondierenden Echosignale die Mittenposition ermittelt. Durch die Ermittlung der Mittenposition der gerade aktiven Apertur des Prüfkopfes kann eine besonders exakte Ultraschallprüfung und Erzeugung einer Abbildung des Prüfbereiches des Prüfobjekts erzielt werden.

[0012] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Abbildung des Prüfbereichs des Prüfobjekts während des Bewegens des Prüfkopfes entlang der Prüfobjektoberfläche erstellt wird. Mit anderen Worten kann ein entsprechendes Analyseergebnis der Ultraschallprüfung optional bereits während der laufenden Messung angezeigt werden. Dadurch kann besonders schnell, also noch während der Durchführung der Ultraschallprüfung, auf entsprechende lokalisierte Defekte innerhalb des Prüfobjekts geschlossen werden.

[0013] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass Daten über die erfassten Positionen und/oder Orientierungen und diesen jeweils zugeordnete Zeitpunkte gespeichert werden. Diese Daten können für eine spätere Auswertung bereitgestellt werden, beispielsweise zum Nachweis dafür, dass keine relevanten Prüforte bei der Ultraschallprüfung ausgelassen worden sind, oder zur späteren Visualisierung eines dreidimensionalen Modells des Prüfobjekts.

[0014] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Ultraschallprüfung mit mehreren Prüfköpfen durchgeführt wird. Die Erfassung der jeweiligen Position und/oder Orientierungen wird dabei für alle Prüfköpfe durchgeführt und bei der Erstellung der Abbildung des Prüfobjekts berücksichtigt werden. Durch die Verwendung mehrerer Prüfköpfe können auch große Prüfobjekt in relativ kurzer Zeit der Ultraschallprüfung unterzogen werden.

[0015] Das erfindungsgemäße System zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts umfasst einen entlang einer Prüfobjektoberfläche bewegbaren Prüfkopf, mittels welchem Ultraschallimpulse in das Prüfobjekt aussendbar und jeweilige mit den ausgesendeten Ultraschallimpulsen korrespondierende Echosignale empfangbar sind. Des Weiteren umfasst das System eine Datenverarbeitungseinrichtung, mittels welcher eine Abbildung eines vorgebbaren Prüfbereichs des Prüfobjekts basierend auf einer Überlagerung und Mittelung von Amplitudenwerten der empfangenen Echosignale erstellbar ist. Das erfindungsgemäße System zeichnet sich dabei dadurch aus, dass das System eine Erfassungseinrichtung umfasst, mittels welcher jeweilige Positionen des Prüfkopfes bei Aussenden der Ultraschallsignale und/oder bei Empfangen der korrespondierenden Echosignale erfassbar sind, wobei mittels der Datenverarbeitungseinrichtung die Abbildung des Prüfbereichs

des Prüfobjekts unter Berücksichtigung der jeweils erfassten Position des Prüfkopfes erstellbar ist. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind dabei als vorteilhafte Ausgestaltungen des Systems anzusehen, wobei das System insbesondere Mittel umfasst, um die Verfahrensschritte durchzuführen zu können.

[0016] In vorteilhafter Ausgestaltung des Systems ist es vorgesehen, dass die Erfassungseinrichtung einen optischen Bewegungssensor umfasst, welcher an dem Prüfkopf angebracht ist, und mittels welchem die jeweils relative Position zu einem Referenzpunkt erfassbar ist. Bei dem Referenzpunkt kann es sich beispielsweise um die Position handeln, an welcher der Prüfkopf zu Beginn der Ultraschallprüfung angeordnet worden ist. Vorzugsweise umfasst die Erfassungseinrichtung dabei einen weiteren optischen Bewegungssensor, welcher mit einem vorgegebenen Abstand entfernt von dem anderen optischen Bewegungssensor an dem Prüfkopf angebracht ist und mittels welchem die jeweils relative Position zu dem Referenzpunkt erfassbar ist. Durch die Verwendung von zwei Bewegungssensoren, welche beispielsweise nach dem sogenannten Optical-Flow-Messprinzip arbeiten können, welche aus Computereingabegeräten, beispielsweise Computer-Mäusen, bekannt sind, werden lokal variierende optische Eigenschaften der Prüfobjektoberfläche zur Bewegungsdetektion herangezogen, um die jeweiligen Positionen des Prüfkopfes zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Messung bestimmen zu können. Durch die Hinzunahme des zweiten optischen Bewegungssensors kann die Bewegungsdetektion von zwei translatorischen auf einen dritten, nämlichen rotatorischen Freiheitsgrad, erweitert werden.

[0017] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Systems ist es vorgesehen, dass die Erfassungseinrichtung eine Mehrzahl von an dem Prüfkopf angebrachten Ultraschallsendern und zumindest einen vom Prüfkopf entfernt angeordneten Ultraschallempfänger umfasst, mittels welchem die Position und Orientierung des Prüfkopfes anhand der von den Ultraschallsendern ausgesendeten Ultraschallimpulsen ermittelbar ist. Dadurch können auf besonders zuverlässige Weise dreidimensionale Positionsinformationen und jeweilige Orientierungen des Prüfkopfes um die drei Raumachsen ermittelt werden. Es können dabei auch mehrere Ultraschallempfänger vorgesehen sein. Zudem kann die Position der Ultraschallsender und des Ultraschallempfängers oder der Ultraschallempfänger vertauscht sein. Mit anderen Worten können der oder die Ultraschallempfänger am Prüfkopf vorgesehen sein, wobei die Ultraschallsender ortsfest und entsprechend beabstandet von dem Prüfkopf angeordnet sind.

[0018] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Erfassungseinrichtung eine verschwenkbare Halteeinrichtung umfasst, an welcher der Prüfkopf drehbeweglich angebracht ist, wobei die Halteeinrichtung einen Weg- und Drehgeber umfasst, mittels welchem die Position und/oder Orientierung des Prüfkopfes ermittelbar ist. Dadurch kann ebenfalls auf zuverlässige Weise eine jeweilige Positionierung des Prüfkopfes in allen drei Raumrichtungen sowie die Orientierung des Prüfkopfes um alle drei Raumachsen erfasst werden.

[0019] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung des Systems ist es vorgesehen, dass die Erfassungseinrichtung eine Bilderfassungseinrichtung umfasst, mittels welcher eine Mehrzahl von am Prüfkopf angebrachten optischen Markierungen erfassbar und basierend darauf die Position und Orientierung des Prüfkopfes ermittelbar sind. Bei den optischen Markierungen kann es sich beispielsweise um aktive, also Licht emittierende oder passive, das Umgebungslicht oder eine Hilfsbeleuchtung reflektierende, Markierungen handeln. Durch eine entsprechende Detektion der optischen Markierungen kann kontinuierlich eine dreidimensionale Positionierung und Orientierung des Prüfkopfes, beispielsweise relativ zu einem vorgegebenen Koordinatensystem, ermittelt werden.

[0020] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform des Systems sieht vor, dass die Erfassungseinrichtung eine am Prüfkopf angebrachte Bilderfassungseinrichtung umfasst, mittels welcher eine Mehrzahl von an der Prüfobjektoberfläche angebrachten optischen Markierungen erfassbar und basierend darauf die Position und Orientierung des Prüfkopfes ermittelbar ist. Vorzugsweise umfasst die Erfassungseinrichtung eine Projektionseinrichtung, mittels welcher die optischen Markierungen auf die Prüfobjektoberfläche mit einem vorgebbaren Muster projizierbar sind. Das vorgegebene Muster kann beispielsweise ein Punkt-, Streifen, Schachbrettmuster oder dergleichen sein. Vorteilhaft ist dabei eine Ausführung des Musters, das auf eine vorgegebene Art lokal variiert, beispielsweise durch eine Kodierung mittels der Punktform, der Anordnung der Punkte, der Wellenlänge oder dergleichen. Dadurch wird eine besonders einfache und zuverlässige Ermittlung der Positionierung und Orientierung des Prüfkopfes ermöglicht.

[0021] Schließlich ist es in weiterer vorteilhafter Ausgestaltung des Systems vorgesehen, dass der Prüfkopf als Senkrechtprüfkopf, Winkelprüfkopf oder als Phased-Array-Prüfkopf ausgebildet ist.

[0022] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen sowie die nachfolgend in der Figuren-

beschreibung genannten und/oder in den Figuren alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

[0023] Die Zeichnung zeigt in:

[0024] Fig. 1 eine schematische Perspektivansicht eines Systems zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts, wobei zwei optische Bewegungssensoren zur Erfassung der Position und Orientierung des Prüfkopfes an diesem angeordnet sind;

[0025] Fig. 2 eine schematische Perspektivansicht einer alternativen Ausführungsform des Systems zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts, wobei an einem Arm ein Ultraschallempfänger oberhalb eines T-förmig ausgebildeten Prüfkopfes angeordnet ist, an welchem seinerseits drei Ultraschallsender angebracht sind;

[0026] Fig. 3 eine Perspektivansicht einer weiteren alternativen Ausführungsform zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts, wobei ein handgeführter Prüfkopf an einer verschwenkbaren Halteeinrichtung angeordnet ist;

[0027] Fig. 4 eine schematische Perspektivansicht einer weiteren Ausführungsform des Systems zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts, wobei eine Mehrzahl von optischen Markierungen an einem Prüfkopf angebracht ist und eine oberhalb des Prüfkopfs angeordnete Bilderfassungseinrichtung vorgesehen ist; und in

[0028] Fig. 5 eine schematische Perspektivansicht einer weiteren Ausführungsform des Systems zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts, wobei eine Bilderfassungseinrichtung am Prüfkopf angebracht ist, mittels welcher eine Mehrzahl von an der Prüfobjektoberfläche angebrachte optische Markierungen erfassbar sind.

[0029] In den Figuren werden gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0030] Ein insgesamt mit **10** bezeichnetes System zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts **12** ist in einer schematischen Perspektivansicht in **Fig.** 1 gezeigt. Das System **10** umfasst einen entlang einer Prüfobjektoberfläche **14** bewegbaren Prüfkopf **16**, mittels welchem Ultraschallimpulse in das Prüfobjekt **12** aussendbar und jeweilige mit den ausgesendeten Ultraschallimpulsen korrespondierende Echosignale empfangbar sind. Das System **10** umfasst des Weiteren eine hier nicht dargestellte Datenverarbeitungseinrichtung **18**, mittels welcher eine hier ebenfalls nicht dargestellte **Abb.** 20 eines Prüfbereichs des Prüfobjekts **12** basierend auf einer Überlagerung und Mittlung von Amplitudenwerten der empfangenen Echosignale erstellbar ist. Mit anderen Worten ist das System **10** zur Ultraschallprüfung des Prüfobjekts **12** dazu ausgelegt, eine sogenannte SAFT-Analyse (Syntetic Aperture Focusing Technique) im Rahmen der Ultraschallprüfung des Prüfobjekts **12** durchzuführen.

[0031] Das System **10** umfasst des Weiteren eine hier nicht näher bezeichnete Erfassungseinrichtung, mittels welcher jeweilige Positionen des Prüfkopfes **16** bei Aussenden der Ultraschallsignale und bei Empfangen der korrespondierenden Echosignale erfassbar sind. Mittels der Datenverarbeitungseinrichtung **18** ist die **Abb.** 20 des Prüfobjekts **12** in Abhängigkeit von den jeweils erfassten Positionen und Orientierungen des Prüfkopfes **16** erstellbar.

[0032] Im vorliegend in **Fig.** 1 dargestellten Fall umfasst die Erfassungseinrichtung zwei optische Bewegungssensoren **22**, **24**, welche voneinander beabstandet an jeweiligen Seiten des Prüfkopfes **16** angebracht sind. Bei den Bewegungssensoren **22**, **24** handelt es sich vorliegend um 2D-Bewegungssensoren, welche beispielsweise nach dem Optical-Flow-Messprinzip, welches beispielsweise von Computermäusen bekannt ist, arbeiten. Dabei werden lokal variierende optische Eigenschaften der Prüfobjektoberfläche **14** zur Bewegungsdetektion herangezogen. Mit Hilfe der beiden optischen Bewegungssensoren **22**, **24** kann die jeweils relative Position zu einem Referenzpunkt, beispielsweise zu einem Startpunkt des Prüfkopfes **16** zu Beginn der Ultraschallprüfung, erfasst werden. Durch die Verwendung der beiden optischen Bewegungssensoren **22**, **24** können neben der zweidimensionalen Positionserfassung des Prüfkopfes **16** während der Ultraschallprüfung auch als zusätzlicher Freiheitsgrad die Orientierung des Prüfkopfes in Form einer jeweiligen Drehbewegung um die Normale zur Prüfobjektoberfläche **14** erfasst werden.

[0033] Nachfolgend wird ein Verfahren zur Ultraschallprüfung des Prüfobjekts **12** erläutert. Der Prüfkopf **16** wird manuell, also von Hand, entlang der Prüfobjektoberfläche **14** bewegt, wobei Ultraschallimpulse in das Prüfobjekt **12** ausgesendet werden. Jeweilige mit den ausgesendeten Ultraschallimpulsen korrespondierende Echosignale werden dabei mittels des Prüfkopfes **16** empfangen. Während der Bewegung des Prüfkopfes **16** entlang der Prüfobjektoberfläche **14** werden unter Zuhilfenahme der optischen Bewegungssensoren **22**, **24** die jeweilige Position und Orientierung des Prüfkopfes bei Aussenden der jeweiligen Ultraschallsignale und bei Empfangen der korrespondierenden Echosignale erfasst.

[0034] Basierend auf einer Überlagerung und Mittelung von Amplitudenwerten der empfangenen Echosignale wird mittels der Datenverarbeitungseinrichtung **18** eine **Abb.** 20 eines zu überprüfenden Bereichs des Prüfobjekts erstellt. Dabei wird je nachdem, welcher Teil des Prüfobjekts **12** mittels der Ultraschallprüfung untersucht worden ist, nur ein Teilbereich oder von dem gesamten Prüfobjekt **12** eine **Abb.** 20 erstellt.

[0035] Die jeweils erfassten Positionen und Orientierungen des Prüfkopfes **16** werden beim Erzeugen der **Abb.** 20 des Prüfobjekts **12** berücksichtigt. Es wird aus den gemessenen Positionen und Orientierungen und dem jeweiligen Zeitbezug die momentane Position und Orientierung des Prüfkopfes **16** zum Zeitpunkt jedes Ultraschallimpulses berechnet und bei der sogenannten SAFT-Analyse zur Bestimmung des Abstandes zwischen rekonstruiertem jeweiligen Voxel und Messposition benutzt. Dabei wird anhand der erfassten Position und Orientierung des Prüfkopfes **16** die Mittenposition der aktiven Apertur des Prüfkopfes beim Aussenden der Ultraschallsignale ermittelt und beim Erzeugen der Abbildung des Prüfbereichs des Prüfobjekts **12** berücksichtigt. Unter der aktiven Apertur ist dabei der Teil des Prüfkopfes **16** zu verstehen, welcher als wirksame Sende- bzw. Empfangsfläche dient. Ein räumlicher Versatz zwischen der jeweiligen Positionsmessung und der Position des Prüfkopfes **16** wird mit Hilfe der erfassten Information über die Prüfkopforientierung herausgerechnet

[0036] Die **Abb.** 20 des Prüfobjekts **12** wird dabei bereits während des Bewegens des Prüfkopfes **16** entlang der Prüfobjektoberfläche **14** erstellt. Somit werden bereits frühzeitig entsprechende Fehlstellen, Defekte und dergleichen innerhalb des Prüfobjekts **12** erkannt und mittels der erstellten Abbildung **20**, beispielsweise auf einem hier nicht dargestellten Monitor **26** visualisiert.

[0037] Die während der Ultraschallprüfung erfassten Daten über jeweilige Positionen und diesen jeweils zugeordnete Zeitpunkte werden gespeichert, so dass diese Informationen bzw. Daten für eine spätere Auswertung zur Verfügung stehen, beispielsweise als Nachweis dafür, dass kein relevanter Prüfort an dem Prüfobjekt **12** bei der Ultraschallprüfung ausgelassen wurde oder auch zur Visualisierung mittels eines späteren 3D-Modells des Prüfobjekts **12**.

[0038] Die Ultraschallprüfung kann entgegen der hier gezeigten Darstellung auch mit mehreren weiteren Prüfköpfen durchgeführt werden, was sich insbesondere dann anbietet, wenn der Prüfobjekt **12** bzw. das zu untersuchende Gebiet des Prüfobjekts **12** besonders groß sein sollte. Der Prüfkopf **16** bzw. die weiteren Prüfköpfe können dabei als Senkrechtprüfkopf, Winkelprüfkopf oder als Phased-Array-Prüfkopf ausgebildet sein.

[0039] In **Fig.** 2 ist in einer Perspektivansicht eine alternative Ausführungsform des Systems **10** gezeigt. Vorliegend umfasst die hier nicht näher bezeichnete Erfassungseinrichtung drei Ultraschallsender **28**, welche an dem im vorliegenden Fall T-förmig ausgebildeten Prüfkopf **16** angeordnet sind, wobei genauer gesagt ein T-förmiges Teil an dem Prüfkopf **16** angebracht ist, an welchem die Ultraschallsender **28** angeordnet sind. Des Weiteren ist ein vom Prüfkopf **16** entfernt angeordneter Ultraschallempfänger **30** vorgesehen, mittels welchem die Position und Orientierung des Prüfkopfes **16** anhand der von den Ultraschallsendern **28** ausgesendeten Ultraschallimpulse ermittelbar ist. Die Erfassung der Position und Orientierung erfolgt mit anderen Worten also mittels eines sogenannten akustischen Trackings. Anhand von Laufzeitmessungen können die Abstände zwischen den Ultraschallsendern **28** und dem Ultraschallempfänger **30** bestimmt und durch eine Triangulation in eine dreidimensionale Position und Orientierung im Raum umgerechnet werden, wodurch auf zuverlässige Weise die jeweiligen Positionierungen und Orientierungen des Prüfkopfs **16** während dessen Bewegung entlang der Prüfobjektoberfläche **14** bestimmt werden können.

[0040] Eine weitere alternative Ausführungsform des Systems **10** zur Ultraschallprüfung des Prüfobjekts **12** ist in einer Perspektivansicht in **Fig.** 3 gezeigt. Im vorliegend gezeigten Fall umfasst die Erfassungseinrichtung eine verschwenkbare Halteeinrichtung **32**, welche als eine Art Schwenkarm ausgebildet ist. An der Halteeinrichtung **32** ist an dessen Ende der Prüfkopf **16** drehbar abgebracht, wobei die Halteeinrichtung **32** eine Mehrzahl von hier nicht näher bezeichneten Weg- und Drehgebern umfasst, mittels welchen die Position und Orientierung des Prüfkopfes **16** ermittelbar ist. Der Prüfkopf **16** kann dabei entsprechend der vorhandenen Freiheitsgrade der Halteeinrichtung **32** entlang der Prüfobjektoberfläche **14** bewegt werden, wobei mittels der Weg- und Drehgeber jeweils die Positionierung und Orientierung des Prüfkopfes **16** auf zuverlässige Weise erfassbar ist.

[0041] In **Fig.** 4 ist in einer schematischen Perspektivansicht eine weitere Ausführungsform des Systems **10** zur Ultraschallprüfung des Prüfobjekts **12** gezeigt. Die Erfassungsseinrichtung umfasst im vorliegenden Fall eine Bilderfassungseinrichtung **34**, mittels welcher eine Mehrzahl von am Prüfkopf **16** angebrachten optischen Markierungen **36** erfassbar und basierend darauf die Position und Orientierung des Prüfkopfes **16** ermittelbar sind. Die Positionsmessung erfolgt also mittels eines externen optischen Trackings. Der bewegliche Prüfkopf **16** weist optische Marker auf, die in Form der optischen Markierungen **36** erfassbar sind. Die optischen Markierungen **36** können beispielsweise aktiv, also Licht emittierend, oder passiv, das Umgebungslicht oder eine Hilfsbeleuchtung reflektierend, ausgebildet sein. Die

Bilderfassungseinrichtung **34** kann beispielsweise als Stereo-Kamerasystem ausgebildet sein, mittels welcher die optischen Markierungen **36** detektiert und basierend darauf kontinuierlich deren dreidimensionale Positionierung und Orientierung im Raum relativ zu einem Bezugskoordinatensystem ermittelt werden.

[0042] Schließlich ist in **Fig.** 5 eine weitere alternative Ausführungsform des Systems **10** zur Ultraschallprüfung des Prüfobjekts **12** gezeigt. Die Erfassungseinrichtung umfasst im vorliegenden Fall eine am Prüfkopf **16** angebrachte Bilderfassungseinrichtung **38**, mittels welcher eine Mehrzahl von an der Prüfobjektoberfläche **14** angebrachte optische Markierungen **40** erfassbar und basierend darauf die Position und Orientierung des Prüfkopfes **16** ermittelbar ist. Die Positionsmessung bzw. Orientierungsmessung des Prüfkopfes **16** erfolgt im vorliegend gezeigten Fall mittels eines internen optischen Trackings.

[0043] Die Erfassungseinrichtung umfasst eine unbeweglich gelagerte Projektionseinrichtung **42**, welche geeignete Muster in Form der optischen Markierungen **40** auf die Prüfobjektoberfläche **14** projiziert. Der bewegliche Prüfkopf **16** weist eine optische Trackingeinrichtung in Form der Bilderfassungseinrichtung **18** auf, welche z. B. als Stereo-Kamerasystem ausgebildet sein kann, mittels welcher kontinuierlich die Position des Prüfkopfes **16** relativ zu dem projizierten Muster ermittelt werden kann. Mittels der Projektionseinrichtung **42** können die optischen Markierungen **40** auf die Prüfobjektoberfläche **14** mit einem vorgebbaren Muster projiziert werden. Das Muster kann beispielsweise ein Punkt-, Streifen- oder Schachbrettmuster sein. Das Muster wird dabei lokal über der Prüfobjektoberfläche **14** variiert, indem eine Kodierung mittels der Punktform, der Anordnung der Punkte oder der Wellenlänge vorgegeben wird. Dadurch kann auf besonders einfache und zuverlässige Weise die Positionierung und Orientierung des Prüfkopfes **16** ermittelt werden.

[0044] Mittels der unterschiedlichen Ausführungsformen des Systems **10** und dem erläuterten Verfahren zur Ultraschallüberprüfung eines Prüfobjekts kann das an und für sich bekannte SAFT-Verfahren auch bei einer manuellen Führung eines Prüfkopfes auf zuverlässige Weise angewendet werden, indem wie in der erläuterten Weise eine Positions- und Orientierungserfassung des Prüfkopfes **16** während der Ultraschallprüfung des Prüfobjekts **12** durchgeführt und bei der Erstellung einer Abbildung eines zu überprüfenden Bereichs des Prüfobjekts **12** berücksichtigt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts (**12**), mit den Schritten:
– Bewegen eines Prüfkopfes (**16**) entlang einer Prüfobjektsoberfläche (**14**) und Aussenden von Ultraschallimpulsen in das Prüfobjekt (**12**) mittels des Prüfkopfes (**16**);
– Empfangen jeweiliger mit den ausgesendeten Ultraschallimpulsen korrespondierender Echosignale mittels des Prüfkopfes (**16**);
– Erstellen einer Abbildung (**20**) eines vorgegebenen Prüfbereichs des Prüfobjekts (**12**) basierend auf einer Überlagerung und Mittelung von Amplitudenwerten der empfangenen Echosignale mittels einer Datenverarbeitungseinrichtung (**18**);
gekennzeichnet durch die Schritte:
– Erfassen der jeweiligen Position des Prüfkopfes (**16**) bei Aussenden der Ultraschallsignale und/oder bei Empfangen der korrespondierenden Echosignale mittels einer Erfassungseinrichtung;
– Berücksichtigen der jeweils erfassten Positionen des Prüfkopfes (**16**) beim Erzeugen der Abbildung (**20**) des Prüfbereichs des Prüfobjekts (**12**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Prüfkopf (**16**) manuell entlang der Prüfobjektoberfläche (**14**) bewegt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Prüfkopf (**16**) auf der Prüfobjektoberfläche (**14**) frei geführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass bei Aussenden der Ultraschallsignale und/oder bei Empfangen der korrespondierenden Echosignale eine Orientierung des Prüfkopfes (**16**) mittels der Erfassungseinrichtung erfasst und beim Erzeugen der Abbildung (**20**) des Prüfbereichs des Prüfobjekts (**12**) berücksichtigt wird.

5. Verfahren nach Anspruch einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass anhand der erfassten Position und Orientierung des Prüfkopfes (**16**) die Mittenposition der aktiven Apertur des Prüfkopfes (**16**) beim Aussenden der Ultraschallsignale ermittelt und beim Erzeugen der Abbildung (**20**) des Prüfbereichs des Prüfobjekts (**12**) berücksichtigt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Abbildung (**20**) des Prüfbereichs des Prüfobjekts (**12**) während des Bewegens des Prüfkopfes (**16**) entlang der Prüfobjektoberfläche (**14**) erstellt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass Daten über die erfassten Positionen und/oder Orientierungen und diesen jeweils zugeordnete Zeitpunkte gespeichert werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Ultraschallprüfung mit mehreren Prüfköpfen (**16**) durchgeführt wird.

9. System (**10**) zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjekts (**12**), mit:
– einem entlang einer Prüfobjektoberfläche (**14**) bewegbaren Prüfkopf (**16**), mittels welchem Ultraschallimpulse in das Prüfobjekt (**16**) aussendbar und jeweilige mit den ausgesendeten Ultraschallimpulsen korrespondierende Echosignale empfangbar sind;
– einer Datenverarbeitungseinrichtung (**18**), mittels welcher eine Abbildung (**20**) eines vorgebbaren Prüfbereichs des Prüfobjekts (**12**) basierend auf einer Überlagerung und Mittelung von Amplitudenwerten der empfangenen Echosignale erstellbar ist;
dadurch gekennzeichnet, dass:
– das System (**10**) eine Erfassungseinrichtung umfasst, mittels welcher jeweilige Positionen des Prüfkopfes (**16**) bei Aussenden der Ultraschallsignale und/oder bei Empfangen der korrespondierenden Echosignale erfassbar sind;
– mittels der Datenverarbeitungseinrichtung (**18**) die Abbildung (**20**) des Prüfbereichs des Prüfobjekts (**12**) unter Berücksichtigung der jeweils erfassten Positionen des Prüfkopfes (**16**) erstellbar ist.

10. System (**10**) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Erfassungseinrichtung einen optischen Bewegungssensor (**22**) umfasst, welcher an dem Prüfkopf (**16**) angebracht ist und mittels welchem die jeweils relative Position zu einem Referenzpunkt erfassbar ist.

11. System (**10**) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Erfassungseinrichtung einen weiteren optischen Bewegungssensor (**24**) umfasst, welcher mit einem vorgegebenen Abstand entfernt von dem anderen optischen Bewegungssensor (**22**) an dem Prüfkopf (**16**) angebracht ist und mittels welchem die jeweils relative Position zu dem Referenzpunkt erfassbar ist.

12. System (**10**) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Erfassungseinrichtung eine Mehrzahl von an dem Prüfkopf (**16**) angebrachten Ultraschallsendern (**28**) und zumindest einen vom Prüfkopf (**16**) entfernt angeordneten Ultraschallempfänger (**30**) umfasst, mittels welchem die Position und Orientierung des Prüfkopfes (**16**) anhand der von den Ultraschallsendern (**28**) ausgesendeten Ultraschallimpulse ermittelbar ist.

13. System (**10**) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Ultraschallsender (**28**) und der Ultraschallempfänger vertauscht eingesetzt werden.

14. System (**10**) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Erfassungseinrichtung eine verschwenkbare Halteeinrichtung (**32**) umfasst, an welchem der Prüfkopf (**16**) drehbeweglich angebracht ist, wobei die Halteeinrichtung (**32**) einen Weg- und Drehgeber umfasst, mittels welchen die Position und Orientierung des Prüfkopfes (**16**) ermittelbar ist.

15. System (**10**) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Erfassungseinrichtung eine Bilderfassungseinrichtung (**34**) umfasst, mittels welcher eine Mehrzahl von am Prüfkopf (**16**) angebrachten optische Markierungen (**36**) erfassbar und basierend darauf die Position und Orientierung des Prüfkopfes (**16**) ermittelbar ist.

16. System (**10**) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Erfassungseinrichtung eine am Prüfkopf (**16**) angebrachte Bilderfassungseinrichtung (**38**) umfasst, mittels welcher eine Mehrzahl von an der Prüfobjektoberfläche (**14**) angebrachte optische Markierungen (**40**) erfassbar und basierend darauf die Position und Orientierung des Prüfkopfes (**16**) ermittelbar ist.

17. System (**10**) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Erfassungseinrichtung eine Projektionseinrichtung (**42**) umfasst, mittels welcher die optischen Markierungen (**40**) auf die Prüfobjektoberfläche **14** mit einem vorgegebbaren Muster projizierbar sind.

18. System (**10**) nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Prüfkopf (**16**) als Senkrechtprüfkopf, Winkelprüfkopf oder als Phased-Array-Prüfkopf ausgebildet ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

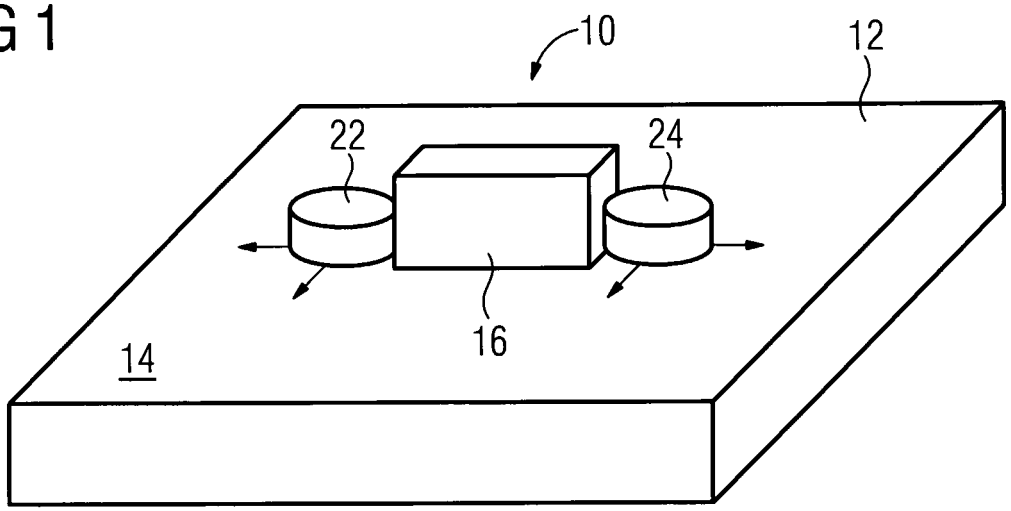


FIG 2

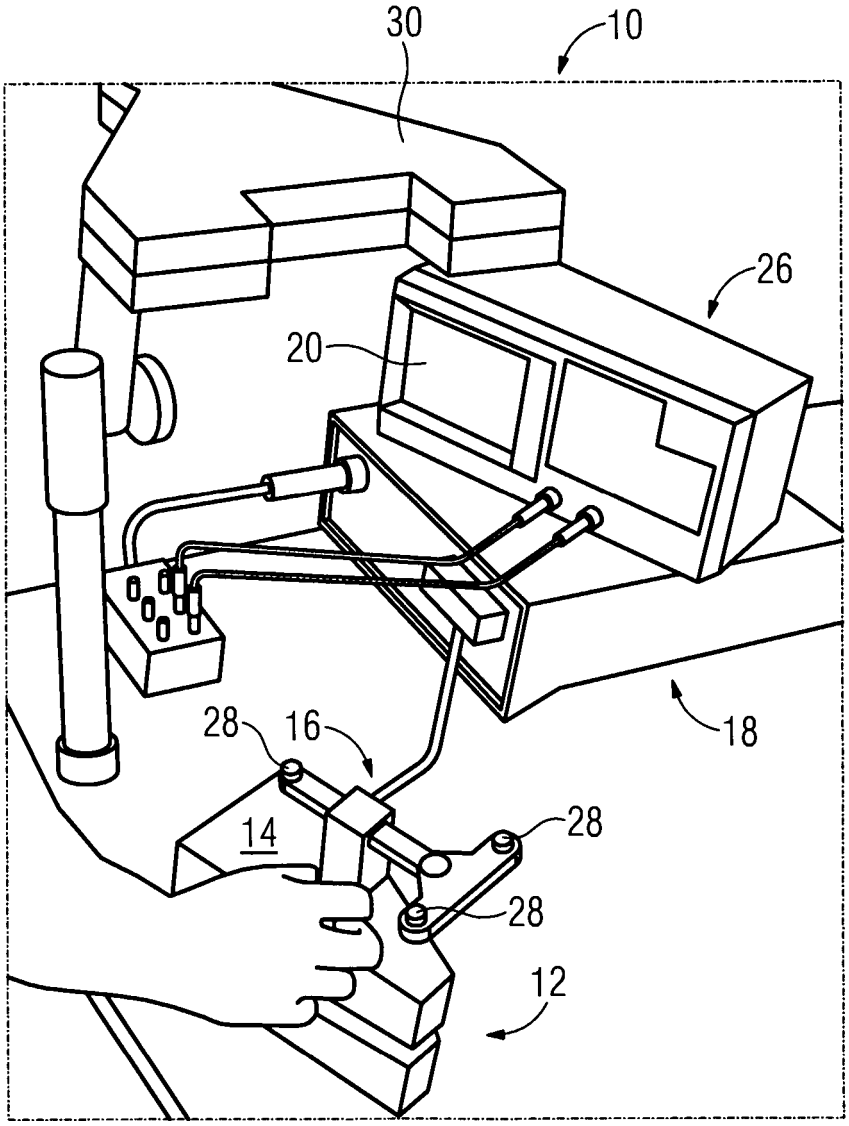


FIG 3

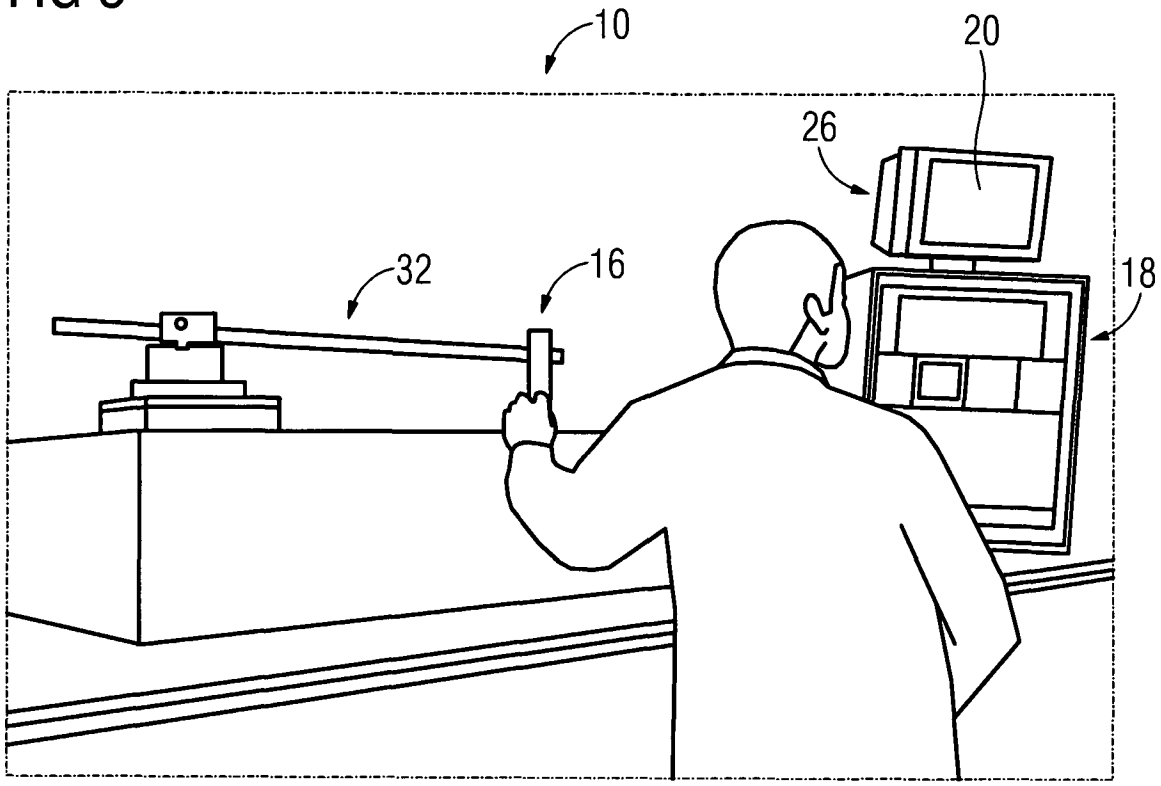


FIG 4

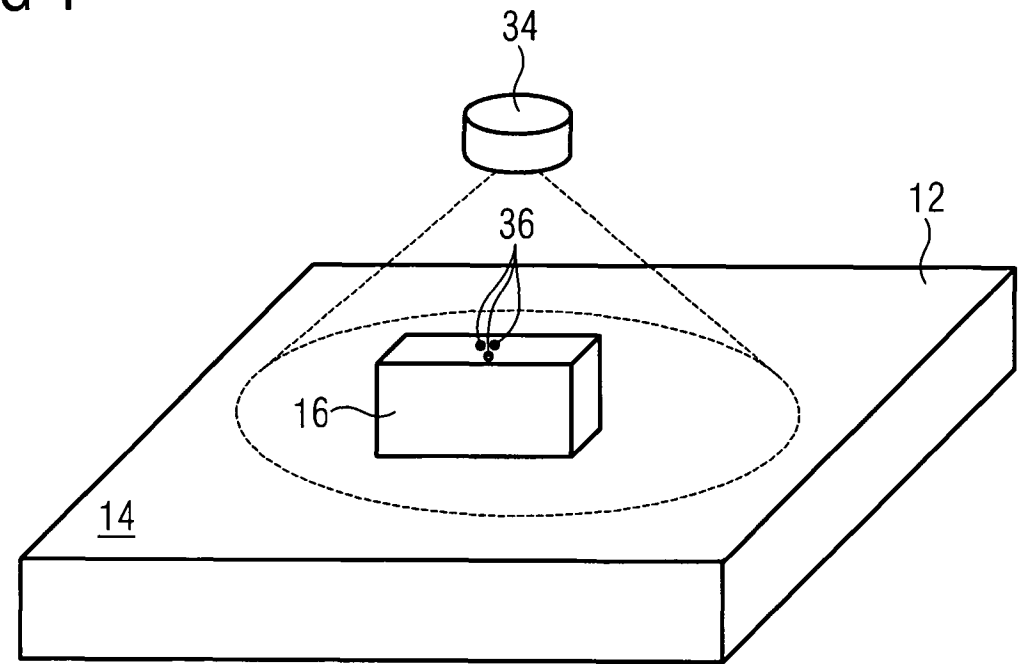


FIG 5

